

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

PAT-NO: FR002608959A1

DOCUMENT-IDENTIFIER: FR 2608959 A1

TITLE: Device for keeping balanced an articulated carrying system for a robot

PUBN-DATE: July 1, 1988

INVENTOR-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
MOTTED, CLAUDE	N/A

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
SERVO CONTACT SA	FR

APPL-NO: FR08618331

APPL-DATE: December 30, 1986

PRIORITY-DATA: FR08618331A (December 30, 1986)

INT-CL (IPC): B25J019/00

EUR-CL (EPC): B25J019/00

US-CL-CURRENT: 901/48

ABSTRACT:

The articulated carrying system comprising an arm 20 and a forearm controlled by a control piece 31 by virtue of a deformable-parallelogram mechanism, a first spring 1 is anchored onto the arm so as to balance the torque exerted by the weight of the system, a second spring 2 is anchored onto the control piece 31 so as to balance the torque exerted by the weight of the forearm, and a guided connecting rod 4 acts on a third spring 3 anchored to the arm 20 so as

to compensate for variations in torque exerted by the weight of the system when the forearm is commanded to move. <IMAGE>

(19) RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

(11) N° de publication :  
(à utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

2 608 959

(21) N° d'enregistrement national : 86 18331

(51) Int Cl<sup>4</sup> : B 25 J 18/02.

(12)

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

(22) Date de dépôt : 30 décembre 1986.

(30) Priorité :

(43) Date de la mise à disposition du public de la demande : BOPI « Brevets » n° 26 du 1<sup>er</sup> juillet 1988.

(60) Références à d'autres documents nationaux appartenants :

(71) Demandeur(s) : Société, dite : SERVO-CONTACT S.A.  
Société anonyme. — FR.

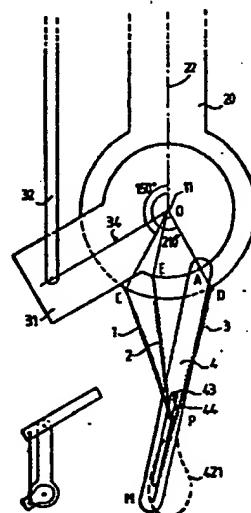
(72) Inventeur(s) : Claude Motted.

(73) Titulaire(s) :

(74) Mandataire(s) : Cabinet Bloch, Conseils en Propriété industrielle.

(54) Dispositif pour maintenir en équilibre un système porteur articulé pour robot.

(57) Le système porteur articulé comprenant un bras 20 et un avant-bras commandé par une pièce de commande 31 grâce à un mécanisme à parallélogramme déformable, un premier ressort 1 est ancré sur le bras pour équilibrer le couple exercé par le poids du système, un deuxième ressort 2 est ancré sur la pièce de commande 31 pour équilibrer le couple exercé par le poids de l'avant-bras, et une biellette 4 guidée agit sur un troisième ressort 3 ancré sur le bras 20 pour compenser les variations du couple exercé par le poids du système lorsque l'avant-bras est commandé pour se déplacer.



FR 2 608 959 - A1

D

La présente invention a pour objet un dispositif pour maintenir en équilibre contre la gravité un système porteur articulé pour robot, le système porteur comprenant au moins :

5

- un bras rigide monté rotatif autour d'un premier axe horizontal, solidaire d'un bâti du robot
- un avant-bras rigide, monté rotatif autour d'un deuxième axe horizontal, solidaire du bras, et,
- 10 - une pièce de commande de l'avant-bras, montée rotative autour du premier axe et reliée à l'avant-bras par un mécanisme à parallélogramme déformable.

Un tel dispositif permet de compenser les sollicitations variables, dues au poids des structures constituant le bras et l'avant-bras, sur les systèmes actionneurs du robot, et dont les inconvénients principaux sont des contraintes sévères pour les moteurs, un risque d'affaissement du système porteur à l'arrêt, des problèmes de commande et de vibrations entraînant des risques de rupture.

On connaît déjà des dispositifs du type défini ci-dessus mettant en œuvre des contrepoids. Cependant, ceux-ci, en augmentant l'inertie du système, conduisent à un surdimensionnement souvent intolérable des moteurs.

Pour éviter cet inconvénient, il est connu, dans le cas où le système porteur n'est constitué que d'un unique bras, d'utiliser des dispositifs élastiques légers, comme les ressorts, pour compenser le poids de ce bras. Lorsque l'on utilise un unique ressort dont une extrémité est ancrée sur le bâti et l'autre extrémité sur un point du bras, pour exercer un couple de rappel, on ne peut obtenir une compensation rigoureuse du couple exercé par le poids du bras que dans une position, du fait que les lois de variations

des deux couples ne sont pas identiques lorsque le bras tourne. Cependant, en déterminant judicieusement les points d'ancrage et la raideur du ressort, on sait obtenir une compensation satisfaisante sur une certaine plage de positions du bras. Si cela s'avère encore insuffisant, on peut utiliser des mécanismes intermédiaires entre le ressort et le bras, assez complexes, mais qui procurent une compensation rigoureuse pour l'ensemble des positions du bras.

10 Cependant, dans le cas du système porteur défini ci-dessus, comportant un bras et avant-bras, l'utilisation d'un premier et d'un deuxième dispositifs d'équilibrage, de type connu, pour équilibrer le bras et l'avant-bras, respectivement, ne permet pas d'obtenir une compensation rigoureuse 15 dans toutes les positions, même si les deux dispositifs d'équilibrage connus employés sont du type qui donne une compensation rigoureuse dans le cas d'un bras isolé.

En effet, même si le couple exercé par le poids de l'avant-bras autour de l'articulation entre le bras et l'avant-bras est rigoureusement compensé par le deuxième dispositif, le poids de l'avant-bras exerce, autour de l'articulation entre le bras et le châssis, un couple variable, dépendant de la position de l'avant-bras, et qui ne saurait être 25 compensé par le premier dispositif, dont le couple de rappel ne dépend, lui, que de la position du bras.

Aussi dans le cas du système porteur défini ci-dessus, on est en général amené à introduire des frottements dans les 30 dispositifs d'équilibrage connus, afin d'en atténuer les imperfections. Mais ceci présente à nouveau l'inconvénient d'un surdimensionnement des moteurs, puisqu'il est nécessaire que ces derniers fournissent, pour vaincre les frottements, une énergie qui se trouve ainsi gaspillée.

La présente invention vise à pallier cet inconvénient en procurant, pour un système porteur comprenant un bras et un avant-bras, un dispositif d'équilibrage efficace et sans frottements.

5

À cet effet, elle a pour objet un dispositif du type défini ci-dessus, caractérisé par le fait qu'il comprend :

- des premiers moyens élastiques pour équilibrer le couple exercé par le poids du système porteur autour du premier axe
- des deuxièmes moyens élastiques pour équilibrer le couple exercé par le poids de l'avant-bras autour du deuxième axe,
- 15 - une biellette, dont une première extrémité est reliée à la pièce de commande de l'avant-bras
- des moyens de guidage de la biellette, agencés pour que, lorsque la pièce de commande de l'avant-bras tourne autour du premier axe, la deuxième extrémité de la biellette se déplace sur un trajet tel que la distance entre la deuxième extrémité et le premier axe passe par un extremum lorsque l'avant-bras est horizontal, et,
- 20 - des troisièmes moyens élastiques, disposés entre la deuxième extrémité de la biellette et le bras pour exercer sur le bras un couple de rappel passant par un maximum lorsque l'avant-bras est horizontal.

Dans le dispositif de l'invention, il se produit une compensation automatique du couple variable exercé autour du premier axe par le poids de l'avant-bras, du fait de l'action de la biellette sur les troisièmes moyens élastiques, action qui dépend de la position de l'avant-bras, et qui est maximale lorsque l'avant-bras est horizontal. De plus la biellette permet une interaction constante entre le bras et l'avant-bras qui fait que, même lorsque l'équilibrage

n'est pas parfait, le couple résiduel qui reste à compenser se répartit automatiquement entre le bras et la pièce de commande de l'avant-bras.

5 Selon une première caractéristique de l'invention :

- les premiers moyens élastiques comprennent un premier ressort, ancré par ses deux extrémités sur le bâti et sur le bras respectivement,
- 10 - les deuxièmes moyens élastiques comprennent un deuxième ressort, ancré par ses deux extrémités sur le bâti et sur la pièce de commande de l'avant-bras, respectivement, et
- les troisièmes moyens élastiques comprennent un troisième ressort, ancré par ses deux extrémités sur le bras et
- 15 sur la deuxième extrémité de la biellette, respectivement.

Dans ce cas, d'une part, la réalisation du dispositif de  
20 l'invention est simple, et, d'autre part, du fait que la biellette procure une interaction entre les trois ressorts, l'équilibrage résulte de l'action conjuguée de ces trois ressorts, agissant souvent de manière antagoniste les uns sur les autres, ce qui atténue notablement les problèmes  
25 de résonance habituellement rencontrés dans les dispositifs à ressorts.

Selon d'autres caractéristiques de l'invention, les moyens de guidage de la biellette comprennent un troisième axe  
30 horizontal monté sur le bâti et un évidemment allongé de la biellette monté coulissant sur le troisième axe, et, l'avant-bras comprenant un peignet pour saisir une charge à manipuler par le robot, le troisième axe est monté mobile sur le châssis, et il est prévu des moyens de réglage de la  
35 position du troisième axe pour compenser les variations des

couples exercés sur le bras et sur la pièce de commande de l'avant-bras par la charge.

On obtient alors un très bon équilibrage du bras, et ce 5 quelle que soit la charge à manipuler, celle-ci restant, bien sûr, comprise à l'intérieur des limites définies par les possibilités mécaniques du système porteur.

La présente invention sera mieux comprise grâce à la description suivante de la forme de réalisation préférée du dispositif de l'invention, et d'une de ses variantes, 10 faite en se référant aux dessins annexés, sur lesquels :

- la figure 1 représente une vue en perspective d'un robot 15 pourvu d'un système porteur articulé,

- la figure 2 représente, de façon schématique, le bras articulé de la figure 1 dans une série d'attitudes caractéristiques,

20 - les figures 3 à 6 représentent, de façon schématique, le dispositif d'équilibrage du bras articulé de la figure 1, les figures 3A, 4A, 5A et 6A représentant chacune une vue de face de ce dispositif dans une attitude différente, 25 et les figures 3B, 4B, 5B et 6B représentant chacune une vue de profil du dispositif dans l'attitude correspondante,

- la figure 7 représente une vue de face d'une variante du dispositif d'équilibrage du bras articulé de la figure 1, 30 dans l'attitude de la figure 5,

- la figure 8 représente un schéma par bloc d'un circuit de commande associé au dispositif de la figure 7,

35 - la figure 9 représente un diagramme des couples calculés,

exercés par le poids des éléments du système porteur de la figure 1, pour les attitudes caractéristiques de la figure 2,

5 - la figure 10 représente un diagramme des couples calculés, exercés par les ressorts du dispositif d'équilibrage de la figure 7, pour les attitudes caractéristiques de la figure 2,

10 - la figure 11 représente un diagramme des couples résiduels, calculé et mesuré, pour le système porteur de la figure 1 utilisé avec le dispositif d'équilibrage des figures 3 à 6, pour les attitudes caractéristiques de la figure 2, et

15 - la figure 12 représente un diagramme du couple résiduel calculé pour le système porteur de la figure 1 utilisé avec le dispositif d'équilibrage de la figure 7, pour les attitudes caractéristiques de la figure 2.

20 La figure 1 représente un robot destiné à manipuler des charges telles que la charge 50. Le robot comprend un corps 90 surmonté d'un bâti 10, qui supporte un système porteur articulé 200. Le système porteur 200 comprend principalement un bras 20, un avant-bras 30 et un poignet 40, réalisés à l'aide de structures pesantes, dont le poids exerce, autour des articulations du système porteur 200, des couples qu'il convient d'équilibrer, afin, en particulier, d'éviter de faire subir en permanence aux actionneurs du 25 robot ces couples parasites variables, et d'obtenir une structure qui ne s'affaisse pas lorsque ces actionneurs sont à l'arrêt.

30 Le bâti 10 peut ici être entraîné en rotation autour d'un axe vertical 93, comme l'indiquent les flèches 91 et 92,

afin de permettre un balayage, par le système porteur articulé 200, du volume entourant l'axe vertical 93.

Le bras 20 est monté rotatif autour d'un axe horizontal 11  
5 solidaire du châssis 10. L'avant-bras 30 est monté rotatif  
autour d'un axe horizontal 21 solidaire du bras 20. Une  
pièce de commande 31 de l'avant-bras, ici sensiblement en  
forme de disque, est montée rotative autour de l'axe 11  
et elle est reliée à l'avant-bras 30 par une tige 32. La  
10 tige 32, le bras 20, l'avant-bras 30 et la pièce de commande  
de 31 de l'avant-bras ferment un mécanisme à parallélogramme  
déformable, de type connu, qui impose à l'avant-bras 30  
les mêmes variations de position angulaire que celles de la  
pièce de commande 31. Le poignet 40 est monté rotatif  
15 autour d'un axe horizontal 33 de l'avant-bras 30.

Un actionneur du bras, non représenté car de type connu  
comportant un moteur associé à un réducteur, est logé à  
l'intérieur du bâti 10. Il permet de commander la position  
20 angulaire du bras 20. Un actionneur de l'avant-bras, du  
même type, est également logé à l'intérieur du bâti 10 et  
commande la position angulaire de la pièce de commande 31  
de l'avant-bras 30, donc la position angulaire de l'avant-  
bras 30. Un tel agencement, qui permet de placer l'action-  
neur de l'avant-bras 30 sur le bâti 10, au lieu de la  
25 placer au niveau de l'articulation entre le bras 20 et  
l'avant-bras 30, permet de réduire considérablement les  
contraintes mécaniques exercées sur le bras 20, et les  
efforts demandés à son actionneur car le poids de l'action-  
neur de l'avant-bras 30 est en général important. Toujours  
30 dans un souci d'allègement, le bras 20 et l'avant-bras 30  
sont ici réalisés en matériaux composites de type connu,  
particulièrement résistants et légers.

35 De façon connue, les actionneurs du poignet 40, qui

permettent de commander son orientation et le mouvement de la pince 42 dont il est pourvu afin de saisir la charge 50, sont ici montés sur le poignet 40, car ils sont d'un poids relativement faible.

5

A titre d'exemple, le système porteur décrit ici est composé d'éléments dont les caractéristiques géométriques sont résumées dans le tableau I.

10

15

20

	Longueur entre articulations	Masse	Centre de gravité
Bras 20	0,4 m	4 kg	à 0,2 m de l'axe 11
Avant-bras 30	0,55 m	7 kg	à 0,1 m de l'axe 21
Poignet 40	0,125 m	1 kg	à 0,125 m de l'axe 33
Charge 50	-	variable entre 0 et 3 kg	à 0,25 m de l'axe 33

TABLEAU I

- 25 La figure 2 représente, de façon simplifiée, le système porteur 200 dans huit attitudes caractéristiques répertoriées de (a) à (h) : Grâce à un ensemble de butées non représentées car classiques, les positions angulaires du bras 20 et de l'avant-bras 30 sont limitées chacune à deux 30 positions extrêmes. Ainsi, si l'on convient de définir "l'avant" du système porteur 200 comme étant son extrémité qui porte le poignet 40, une première position extrême du bras 20, représentée par la ligne pointillée 20', correspond ici à un angle de 45° vers l'avant avec l'axe vertical 35 93, et la deuxième position extrême du bras 20, représentée

par la ligne pointillée 20'', correspond ici à un angle de 45° vers l'arrière. On peut dire que la position 20', dans laquelle se trouve le bras 20 pour les attitudes ①, ② et ③ de la figure 2, correspond ainsi à une position extrême d'extension du système porteur 200, alors que la position 20'', dans laquelle se trouve le bras 20 pour les attitudes ④, ⑤ et ⑥ de la figure 2 correspond à une position extrême de repli du système porteur 200. Les attitudes ⑦ et ⑧ de la figure 2 correspondent à une position intermédiaire du bras 20, ici verticale. De même, une première position extrême de l'avant-bras 30, représentée par la ligne pointillée 30', correspond ici à un angle de 45° avec le bras 20, et la deuxième position extrême de l'avant-bras 30, représentée par la ligne pointillée 30'', correspond ici à un angle de 135° avec le bras 20. Pour les attitudes ① et ④, l'avant-bras 30 est dans la position 30', pour les attitudes ③, ⑤ et ⑥, il est dans la position 30'', et pour les attitudes ② ⑦ et ⑧, il est dans une position intermédiaire, faisant un angle droit avec le bras 20. On notera que les positions extrêmes du bras 20 sont ici définies par rapport à la verticale, alors que les positions extrêmes de l'avant-bras 30 sont ici définies par rapport à la position du bras 20.

On se réfère maintenant aux figures 4A et 4B, qui représentent le dispositif d'équilibrage pour une attitude intermédiaire entre les attitudes ④ et ⑧.

Comme le montre en particulier la figure 4A, le bras 20 est pourvu de deux points d'ancrage C et D, auxquels sont ancrés les premières extrémités de deux ressorts 1 et 3, respectivement. Les points C et D sont ici disposés à égale distance de l'axe 11, schématisé, dans un souci de simplicité par une ligne passant par un point O. Les distances OC et OD sont ici égales à 80 mm et les segments OC et OD

forment, avec la droite 22 passant par le point O et parallèle à la direction du bras 20 des angles égaux à 150° et 210° respectivement.

- 5 La seconde extrémité du ressort 1 est ici ancrée sur un axe horizontal 44, schématisé par une ligne passant par un point P et ici disposé sous l'axe 11. L'axe 44 est monté sur le bâti 10, non représenté dans un souci de simplification sur les figures 4. Le segment OP est ici vertical et  
10 a pour longueur 185 mm.

La seconde extrémité du ressort 3 est ancrée en un point M, disposé à l'extrémité inférieure d'une biellette 4.

- 15 La biellette 4 est pourvue d'un évidement allongé 43, traversé par l'axe 44, de façon à pouvoir coulisser le long de cet axe 44. L'extrémité supérieure de la biellette 4 est reliée à la pièce de commande 31 de l'avant-bras 30 par une articulation schématisée par le point A. Le segment OA, ici de longueur 60 mm, forme, avec la droite 34, passant par le point O et parallèle à la direction de l'avant-bras 30, un angle droit. La biellette est ici telle que le segment AM est de longueur 215 mm, les deux extrémités de l'évidement 43 étant disposées à 15 mm et 100 mm,  
20 respectivement, du point M.  
25

La pièce de commande 31 de l'avant-bras est pourvue d'un point d'ancrage E, auquel est ancré la première extrémité d'un ressort 2, dont la seconde extrémité est ancrée sur  
30 l'axe 44. Le segment OE est ici de longueur 60 mm, et constitue la bissectrice de l'angle droit entre le segment OA et la droite 34.

Les ressorts 1, 2 et 3 schématisés sur les figures ont,  
35 à titre d'exemple, les caractéristiques présentées dans le tableau III.

	ressort	rai- deur N/m	force exer- cée N	lon- gueur mm	réalisation pratique		
					Nombre de ressorts en paral- lèle	Diamètre du fil	Diamètre du ressort
5	1	2280	105	90	1	2,2	20
			310	180			
10	2	4000	220	125	2	2,2	18,5
			640	230			
15	3	2210	130	120	2	2	18
			440	260			

TABLEAU II

La figure 4B indique, de façon schématique, comment sont agencés les éléments précédents dans une direction perpendiculaire à la direction d'observation de la figure 4A. On 20 rencontre successivement, en partant de la gauche de la figure 4B, le bras 20, la pièce de commande de l'avant-bras 31 et la biellette 4. Les points d'ancrage C et D sont ici disposés de chaque côté du bras 20, le point d'ancrage E et le point A étant disposés de chaque côté de la pièce de 25 commande de l'avant-bras.

Naturellement, il est à la portée d'un homme de métier de réaliser, à partir des figures 4A et 4B, limitées, dans un souci de clarté, à une représentation schématique, le dispositif de l'invention. C'est ainsi que dans la pratique, 30 le bras 20, représenté sur la figure 4B sous forme d'une plaque, a une épaisseur beaucoup plus importante et que, pour des raisons évidentes de symétrie, la pièce de commande 31 de l'avant-bras 30 est doublée, une pièce identique 35 étant disposée de l'autre côté du bras 20, ce qui correspond,

entre autres, au fait que le ressort 2 est réalisé pratiquement à l'aide de deux ressorts en parallèle, comme indiqué dans le tableau II.

- 5 Le dispositif d'équilibrage qui vient d'être décrit fonctionne comme suit, en se référant en particulier aux figures 3, 5 et 6 qui représentent le dispositif des figures 4 dans les attitudes **(a)**, **(g)** et **(h)**, respectivement.
- 10 D'une manière générale, le ressort 2, ancré entre le point E de la pièce de commande 31 de l'avant-bras et l'axe 44, tend à équilibrer le couple exercé par le poids de l'avant-bras 30 autour de l'axe 21. Naturellement, et comme cela est connu, le couple exercé par le ressort 2 ne peut pas
- 15 être égal et opposé au couple exercé par le poids de l'avant-bras 30 autour de l'axe 21, quelle que soit la position de l'avant-bras 30. Néanmoins, et comme cela est également connu, on peut choisir la raideur du ressort 2, et ses points d'ancrage pour que cette compensation soit
- 20 la meilleure possible. Ainsi, ici, on a choisi les points P et E pour que le bras de levier de la force exercée par le ressort 2 autour de l'axe 11 soit sensiblement maximal lorsque l'avant-bras est horizontal, comme le montre la figure 5A, et le ressort 2, comme on pourra d'ailleurs le vérifier, est tel que le couple qu'il exerce alors sur la
- 25 pièce de commande 31 est égal et opposé à celui exercé par le poids de l'avant-bras 30.

- De même, le ressort 1, ancré entre le point C du bras et l'axe 44, tend à équilibrer le couple exercé par le poids de l'ensemble du système porteur 200 autour de l'axe 11, et, comme cela sera mieux compris dans la suite, l'action du ressort 1 est combinée à celle du ressort 3 pour que le couple variable exercé par le poids du système porteur 200
- 35 se trouve compensé au mieux.

L'évidement 43 de la biellette 4, en coulissant sur l'axe 44, guide la biellette 4 de manière telle que le point M se déplace le long du trajet représenté par la ligne pointillée 521 sur la figure 4A, lorsque la pièce de commande 5 31 tourne autour de l'axe 11, c'est-à-dire lorsque l'avant-bras 30 tourne autour de l'axe 21. Du fait que le point A est disposé pour que la distance AP soit minimale lorsque l'avant-bras 30 est horizontal, la distance OM passe alors par un extremum, ici un maximum. Le ressort 3 se trouve 10 donc alors allongé au maximum, de façon à exercer sur le bras 20 un couple de rappel vers le haut également maximum. Naturellement, dès que la pièce de commande 31 commande la position angulaire de l'avant-bras 30 pour que celui-ci s'écarte de l'horizontale, le couple de rappel exercé par 15 le ressort 3 diminue.

Naturellement, et comme on peut le constater sur les différentes figures, les variations du couple de rappel exercé sur le bras 20 par le ressort 3 sont modulées en fonction 20 de la position du bras 20, puisque le bras de levier de la force appliquée par le ressort 3 dépend de la position du point d'ancrage D, donc de la position du bras 20, mais, pour une position angulaire déterminée du bras 20, le couple de rappel exercé par le ressort 3 est toujours 25 maximal lorsque l'avant-bras 30 est horizontal.

Comme on peut le constater à partir de la figure 4A et des caractéristiques des ressorts données dans le tableau II, les couples de rappel exercés sur le bras 20 par les ressorts 30 1 et 3, respectivement, se compensent sensiblement lorsque le bras 20 est vertical.

Par contre, comme on peut le constater sur les figures 3, 5 et 6, ces couples de rappel s'additionnent lorsque le 35 bras 20 est dans une position voisine d'une des positions

extrêmes de repli ou d'extension, c'est-à-dire incliné ici à sensiblement 45°.

- Ici, et comme on peut le vérifier à l'aide de la figure 3A,
- 5 la biellette 4, son évidement 43 et l'axe 44 sont agencés pour que, le bras 20 étant dans sa position extrême d'extension 20', lorsque l'avant-bras 30 passe de la position verticale à la position horizontale, il en résulte un allongement du ressort 3 de sensiblement 70 mm, ce qui
- 10 correspond sensiblement à une augmentation de la force appliquée au bras de 150 N environ. Compte tenu des positions du ressort 3 dans les deux cas, l'augmentation du couple de rappel est d'environ 24 Nm, ce qui correspond sensiblement à la variation du couple exercé sur le bras
- 15 20 lorsque l'avant-bras 30 passe de la position verticale à la position horizontale, lorsqu'on suppose que la charge 50 a un poids de 1,5 kg, ce qui correspond à une charge moyenne pour le robot décrit ici.
- 20 En référence à la figure 7, on décrit maintenant une variante du dispositif précédent. Pour cette variante, afin de compenser les inévitables variations de couple, sur le bras 20 et l'avant-bras 30, liées aux variations de position de la charge 50, et au fait que son poids peut changer
- 25 d'une charge à l'autre, on déplace, autour de la position définie précédemment, la position de l'axe 44.
- A cet effet, l'axe 44 n'est plus directement monté sur le bâti 10, mais sur un étrier 51, monté rotatif autour de
- 30 l'axe 44 solidaire du bâti 10. La position de l'étrier 51 est réglable à l'aide d'un dispositif de type connu, comprenant une tige filetée 52, montée mobile en rotation sur des paliers 53 solidaires du bâti 10. La tige 52 coopère, de façon connue, avec un écrou 54 relié à l'étrier 51.
- 35 Lorsque la tige filetée 52 est entraînée en rotation dans

un sens ou dans l'autre, il en résulte un déplacement de l'axe 44 dans un sens ou dans l'autre, le long du trajet sensiblement horizontal représenté par la ligne pointillée 440 de la figure 7.

5

Compte-tenu du fait, que, grâce au dispositif utilisé, les variations de couple qui sont à rattraper sont relativement faibles, il est clair qu'un faible déplacement de l'axe 44, c'est-à-dire du point P, vers l'avant ou vers l'arrière, 10 en jouant sur les élongations des différents ressorts, permet une compensation de ces variations. Par exemple, dans le cas décrit ici, un déplacement de l'axe 44 de quelques dizaines de mm autour du point P est suffisant.

15 Il est évidemment possible de déterminer, par le calcul ou expérimentalement, les positions optimales de l'axe 44, c'est-à-dire celles qui procurent une compensation rigoureuse des couples exercés sur le bras 20 et sur la pièce de commande 31 de l'avant-bras 30, pour chacune des attitudes 20 définies ci-dessus, par exemple, et pour une série de charges de masses et de positions caractéristiques.

Alors, si l'on connaît la masse de la charge, et si l'on sait que le poignet restera toujours dans la même position, 25 par exemple vertical, on peut régler manuellement la position de l'axe 44, avant la mise en fonctionnement du robot, à la position qui procure par exemple le couple résiduel moyen le plus faible pour l'ensemble des attitudes du système porteur en cours de fonctionnement.

30

On peut aussi, afin d'obtenir un meilleur résultat, utiliser le circuit de la figure 8, afin de commander automatiquement, pendant le fonctionnement du robot, la position de l'axe 44.

35 Sur la figure 8, le bloc 41 est une jauge de contrainte de

- type connu, montée sur le poignet 40, pour mesurer le couple exercé par le poids du poignet 40 et de la charge 50 autour de l'axe 33. Le signal de sortie SJ de la jauge de contrainte est envoyé à un microprocesseur 61, qui reçoit également, du circuit de commande, non représenté car classique, des actionneurs du robot, des signaux SB, SAB et SP représentatifs des positions du bras, de l'avant-bras et du poignet, respectivement.
- 10 Le bloc 62 est une mémoire dans lequel ont été stockées des données représentatives des valeurs des positions optimales déterminées comme il a été dit. La mémoire 62 est connectée au microprocesseur 61.
- 15 Le bloc 63 est un circuit de commande de la tige 52, comprenant en particulier un moteur pour entraîner en rotation la tige 52. Le circuit de commande 63 est connecté au microprocesseur 61.
- 20 Le circuit de la figure 8 fonctionne de la façon suivante. Le microprocesseur 61, à partir du signal SJ et du signal SP détermine le poids de la charge 50, car on peut admettre que la position de son centre de gravité est toujours la même. A partir du poids de la charge 50, et des signaux SB, SAB et SP, le microprocesseur 61 peut déterminer l'attitude du système porteur 200, rechercher dans la mémoire 62 les positions optimales de l'axe 44 pour les attitudes les plus proches, et, après interpolation, envoyer au circuit de commande 63 un signal SC tel que l'axe 44 soit disposé en permanence en position optimale, quelles que soient les variations de la position de la charge 50, et de son poids.
- 25 30 35

A titre d'exemple la figure 9 présente les couples calculés, exercés sur le bras par le poids des différents éléments du système porteur 200 défini par le tableau I, pour les

huit attitudes de la figure 2, et à chaque fois pour trois charges dans deux positions, selon la correspondance définie par le tableau III. Sur la figure 9, les couples positifs sont ceux qui font tourner le bras dans le sens inverse du sens trigonométrique.

	courbe	masse kg	position du poignet
10	I	0	verticale
	II	0	horizontale
	III	1,5	verticale
	IV	1,5	horizontale
	V	3	verticale
	VI	3	horizontale

TABLEAU III

- 20 La figure 10 présente les couples calculés, exercés sur le bras par les ressorts définis par le tableau II et agencés comme il a été décrit, pour cinq positions de l'axe 44, selon la correspondance définie dans le tableau IV. Sur la figure 10, les couples positifs sont ceux qui font tourner 25 le bras dans le sens trigonométrique.

	courbe	position de l'axe 44 en référence à la figure 7
30	VII	20 mm arrière point P VII
	VIII	0 mm P
	IX	20 mm avant P IX
	X	40 mm avant P X
	XI	80 mm avant P XI

On constate que l'allure générale des courbes de la figure 9 est identique à celle des courbes de la figure 10, ce qui montre qu'une bonne compensation peut être obtenue, même dans le cas où l'axe 44 reste fixe à la verticale de l'axe 11, cas qui correspond à la courbe VIII. Ainsi, et à titre d'exemple, la figure 11 présente le couple résiduel dans le cas où la charge a une masse de 1,5 kg, le poignet étant maintenu horizontal. La courbe en trait plein de la figure 11 représente donc la différence entre la courbe IV de la figure 9 et la courbe VIII de la figure 10. La courbe en trait pointillé de la figure 11 représente le couple résiduel mesuré sur le dispositif de l'invention, qui montre la bonne concordance entre les résultats expérimentaux et le calcul, la différence entre les deux courbes de la figure 11 étant toujours inférieure à la valeur du couple de frottement.

De plus, dans l'ensemble, la plage de variations des courbes de la figure 9 lorsque la masse et la position angulaire de la charge 50 varient est sensiblement la même que la plage de variations des courbes de la figure 10 lorsque la position de l'axe 44 varie, ce qui montre l'efficacité du réglage de la figure 7 pour réduire encore la valeur du couple résiduel obtenu sur la figure 11. À titre d'exemple, et en conservant le cas d'une charge de masse 1,5 kg avec poignet horizontal (courbe IV), la figure 12 montre le résultat obtenu en supposant, ce qui est bien entendu très approché, que, dans ce cas, la position optimale de l'axe 44 correspond toujours à 40 mm vers l'avant. Ce qui veut donc dire que la courbe de la figure 12 est la différence entre la courbe IV de la figure 9 et la courbe X de la figure 10. Naturellement le résultat réel obtenu avec le circuit de la figure 8 est encore meilleur puisque, dans chaque attitude, on commande la position de l'axe 44 pour que les couples se compensent rigoureusement.

Naturellement, la portée de la présente demande n'est pas limitée à la description qui vient d'en être faite, et des variantes nombreuses, à la portée de l'homme de métier peuvent être envisagées.

5

Par exemple, les ressorts de tension utilisés dans le dispositif décrit pourraient être remplacés par d'autres types de ressorts ou de dispositifs élastiques, et en particulier des ressorts de compression. Dans ce dernier cas, il est 10 à la portée d'un homme de métier d'agencer la biellette 4 pour que la distance OM passe par un minimum, lorsque l'avant-bras 30 passe en position horizontale, de façon à obtenir la même action sur le bras 20.

15 De même, le déplacement sensiblement horizontal de l'axe 44 peut être obtenu à l'aide d'un autre dispositif mécanique que l'étrier 51. De même, il n'est pas obligatoire que les ressorts 1 et 2 soient ancrés sur l'axe 44 et ils peuvent être ancrés en d'autres points du bâti 10.

20

Enfin, la biellette 4 pourrait être guidée par tout autre dispositif connu, par exemple un piston.

**Revendications**

1. Dispositif pour maintenir en équilibre contre la gravité un système porteur (200) articulé pour robot, le système porteur (200) comprenant au moins :

- un bras rigide (20), monté rotatif autour d'un premier axe (11) horizontal, solidaire d'un bâti (10) du robot
- un avant-bras rigide (30), monté rotatif autour d'un deuxième axe (21) horizontal, solidaire du bras (20), et,
- 10 - une pièce de commande (31) de l'avant-bras (30), montée rotative autour du premier axe (11) et reliée à l'avant-bras (30) par un mécanisme à parallélogramme déformable (20, 30, 31, 32)

15 dispositif caractérisé par le fait qu'il comprend :

- des premiers moyens élastiques (1) pour équilibrer le couple exercé par le poids du système porteur (200) autour du premier axe (11)
- des deuxièmes moyens élastiques (2) pour équilibrer le couple exercé par le poids de l'avant-bras (30) autour du deuxième axe (21),
- une biellette (4), dont une première extrémité (A) est reliée à la pièce de commande (31) de l'avant-bras (30)
- 20 - des moyens de guidage (43, 44) de la biellette (4), agencés pour que, lorsque la pièce de commande (31) de l'avant-bras (30) tourne autour du premier axe (11), la deuxième extrémité (M) de la biellette (4) se déplace sur un trajet (421) tel que la distance (OM) entre la deuxième extrémité (M) et le premier axe (11) passe par un extremum lorsque l'avant-bras (30) est horizontal, et,
- des troisièmes moyens élastiques (3), disposés entre la deuxième extrémité (M) de la biellette (4) et le bras (20) pour exercer sur le bras (20) un couple de rappel

passant par un maximum lorsque l'avant-bras (30) est horizontal.

2. Dispositif selon la revendication 1, dans lequel :

5

- les premiers moyens élastiques comprennent un premier ressort (1), ancré par ses deux extrémités (P, C) sur le bâti (10) et sur le bras (20) respectivement,
- les deuxièmes moyens élastiques comprennent un deuxième ressort (2), ancré par ses deux extrémités (P, E) sur le bâti (10) et sur la pièce de commande (31) de l'avant-bras (30), respectivement, et
- les troisièmes moyens élastiques comprennent un troisième ressort (3), ancré par ses deux extrémités (D, M), sur le bras (20) et sur la deuxième extrémité (M) de la biellette (4), respectivement.

3. Dispositif selon la revendication 2, dans lequel le deuxième ressort (2) et ses points d'ancrage (P, E) sont tels qu'il exerce, sur la pièce de commande (31) de l'avant-bras (30), un couple passant sensiblement par un maximum lorsque l'avant-bras (30) est horizontal, ce couple étant alors sensiblement égal et opposé à celui exercé, dans cette position, par le poids de l'avant-bras (30), autour du deuxième axe (21).

25

4. Dispositif selon l'une des revendications 2 ou 3, dans lequel les premier (1) et troisième (3) ressorts, et leurs points d'ancrage (P; C, D, M), sont tels qu'ils exercent, sur le bras (20), des couples de rappel qui se compensent sensiblement, lorsque le bras (20) est vertical, et qui s'additionnent lorsque le bras (20) est incliné à sensiblement 45°.

35

5. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 4, dans

lequel, la position angulaire du bras (20) étant limitée à une position extrême (20') d'extension du système porteur (200), la biellette (4) et ses moyens de guidage (43, 44) sont agencés pour que, le bras (20) étant dans sa position extrême (20'), lorsque l'avant-bras (30) passe de la position verticale à la position horizontale, il en résulte une variation du couple exercé sur le bras (20) par les troisièmes moyens élastiques (3), qui compense sensiblement la variation du couple exercé sur le bras (20) par le poids 10 de l'ensemble du système porteur (200).

6. Dispositif selon l'une des revendications 1 à 5, dans lequel les moyens de guidage de la biellette (4) comprennent un troisième axe horizontal (44) monté sur le bâti (10) et un évidement allongé (43) de la biellette (4) monté coulissant sur le troisième axe (44).

7. Dispositif selon la revendication 6, dans lequel, l'avant-bras (30) comprenant un poignet (40) pour saisir une charge 20 (50) à manipuler par le robot, le troisième axe (44) est monté mobile sur le châssis (10), et il est prévu des moyens de réglage (51-54) de la position du troisième axe (44) pour compenser les variations des couples exercés sur le bras (20) et sur la pièce de commande (31) de l'avant-bras 25 (30) par la charge (50).

8. Dispositif selon la revendication 7, dans lequel, le robot étant pourvu d'actionneurs commandés par un circuit de commande, il est prévu des moyens de mesure (41) de la 30 contrainte exercée sur le poignet (40) par la charge (50), et des moyens (61, 62, 63), reliés à ces moyens de mesure (41) et au circuit de commande des actionneurs, pour commander lesdits moyens de réglage (51-54).

9. Dispositif selon l'une des revendications 6 à 8, dans lequel les extrémités ancrées sur le bâti (P) des premier et deuxième ressorts sont ancrées sur le troisième axe (44).

2608959

PL. I/8

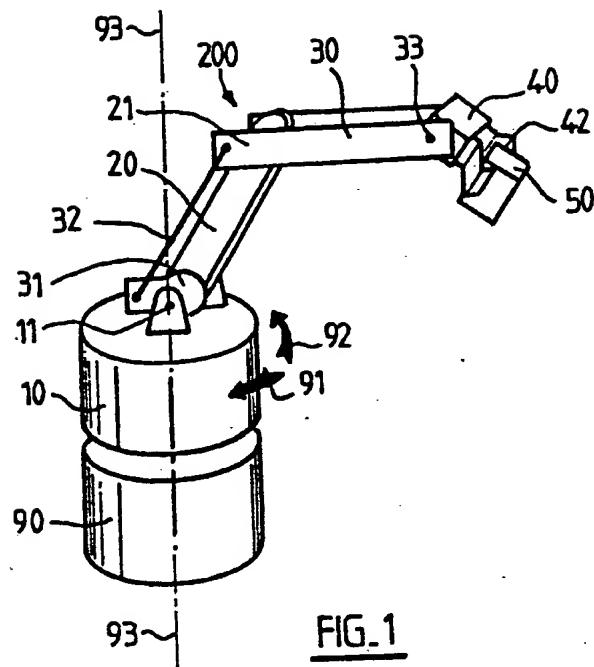


FIG. 1

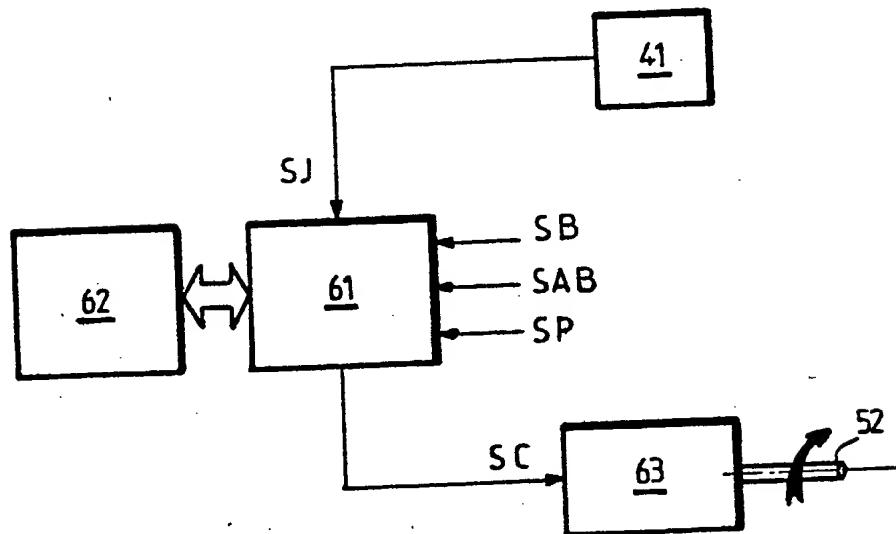


FIG. 8

2608959

PL. II/8

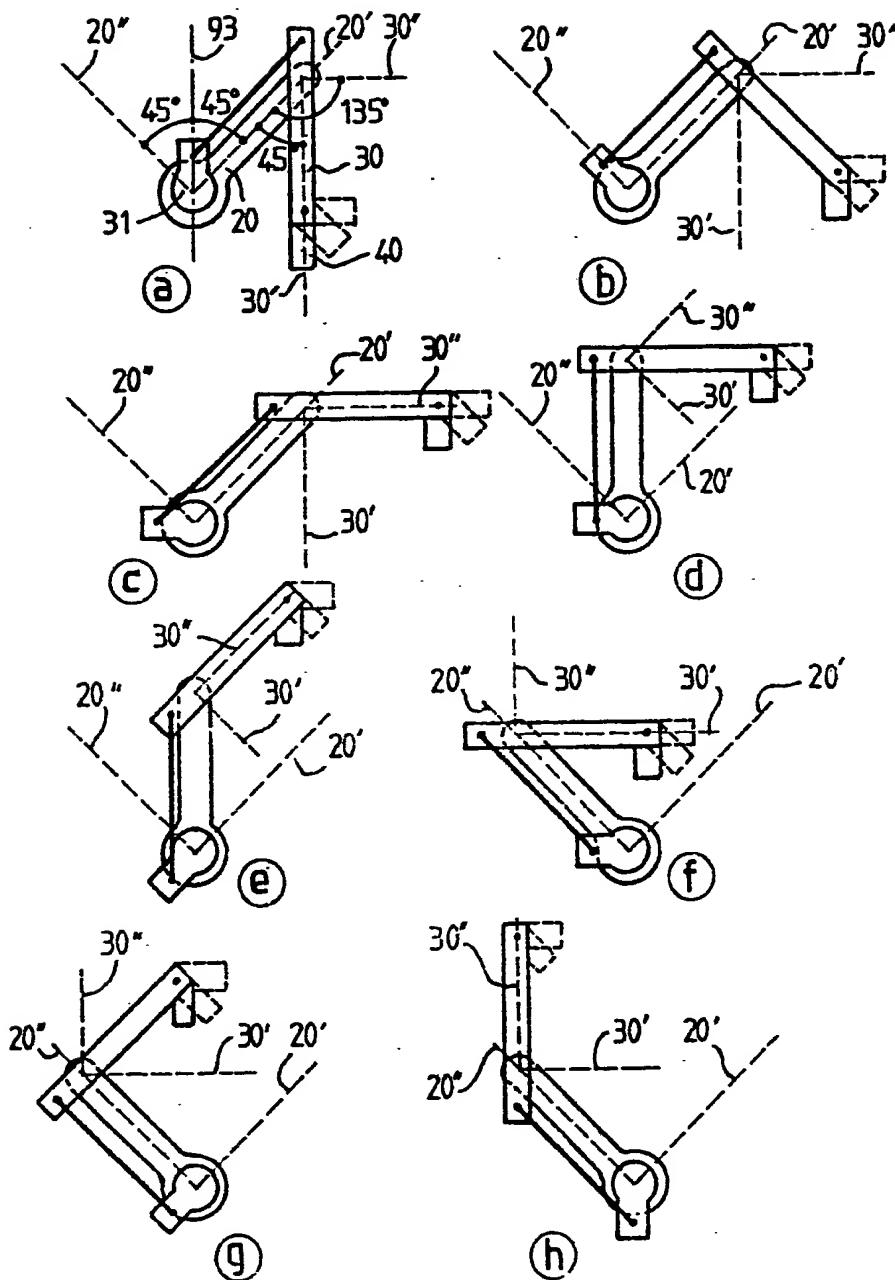


FIG 2

2608959

PL. III/8

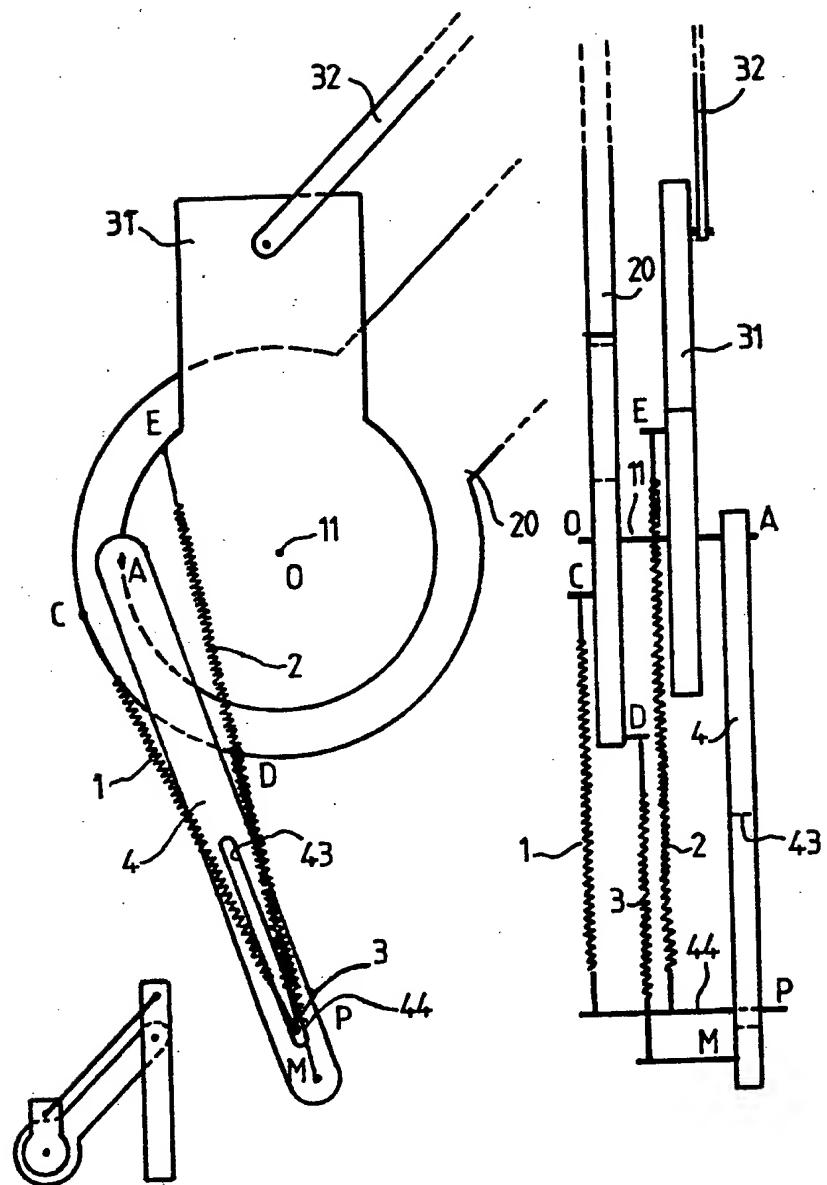


FIG 3A

2608959

PL. IV/8

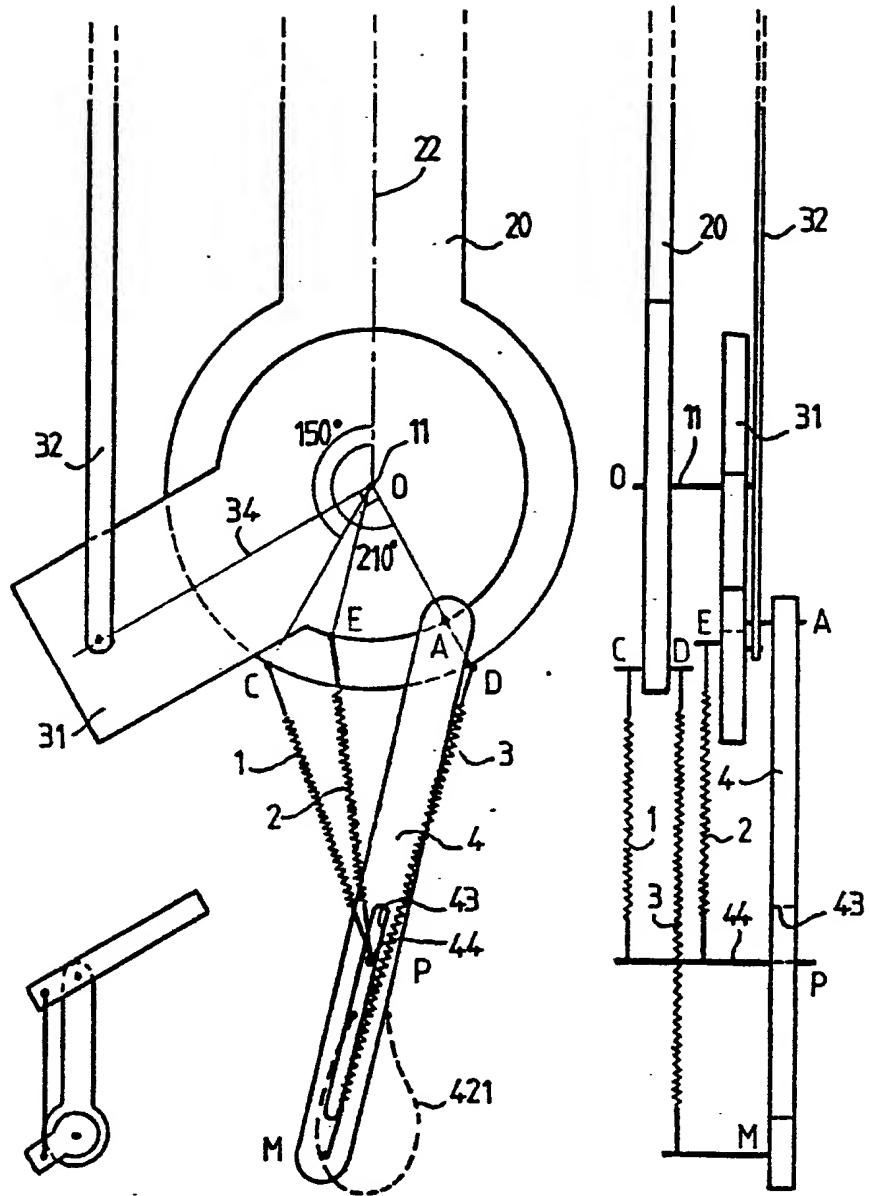
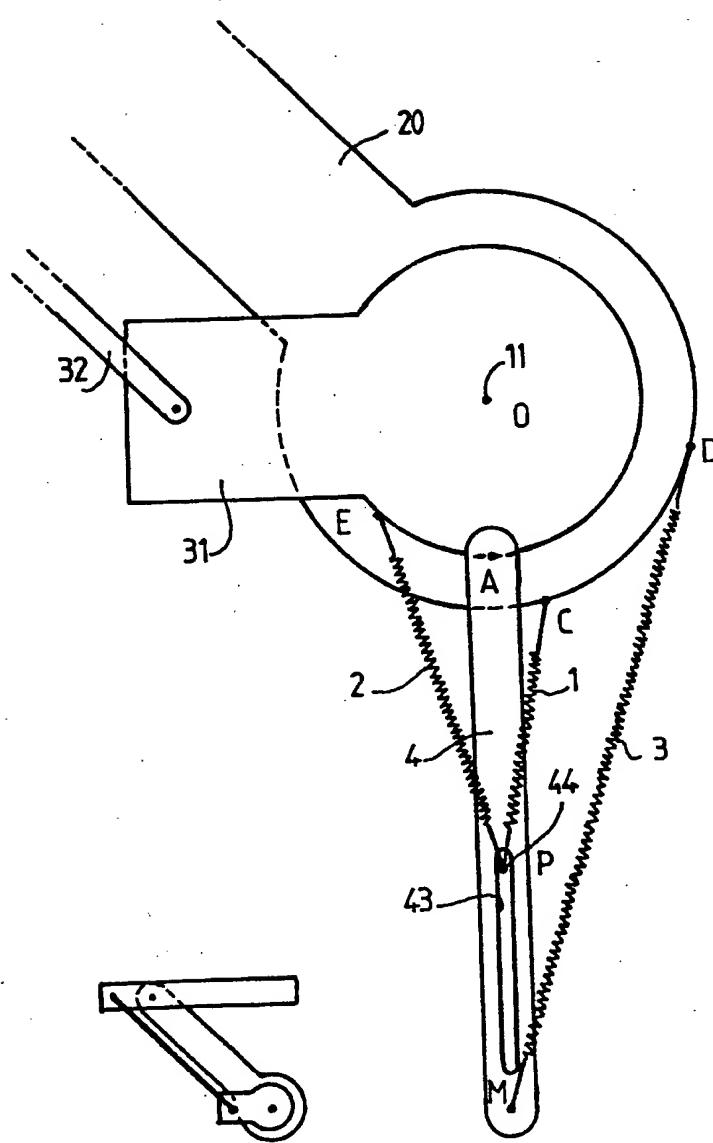
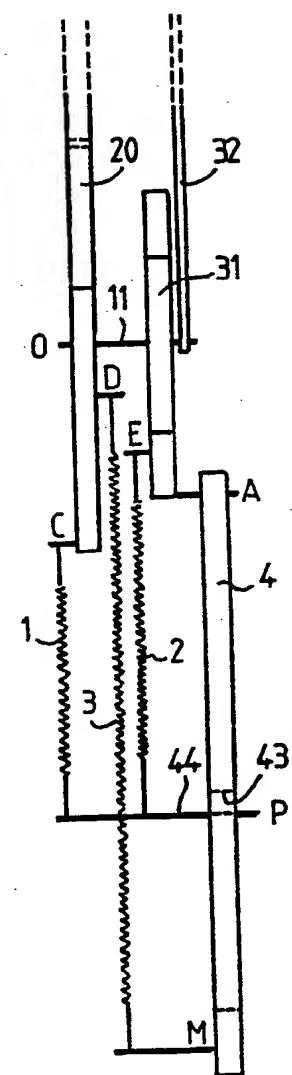
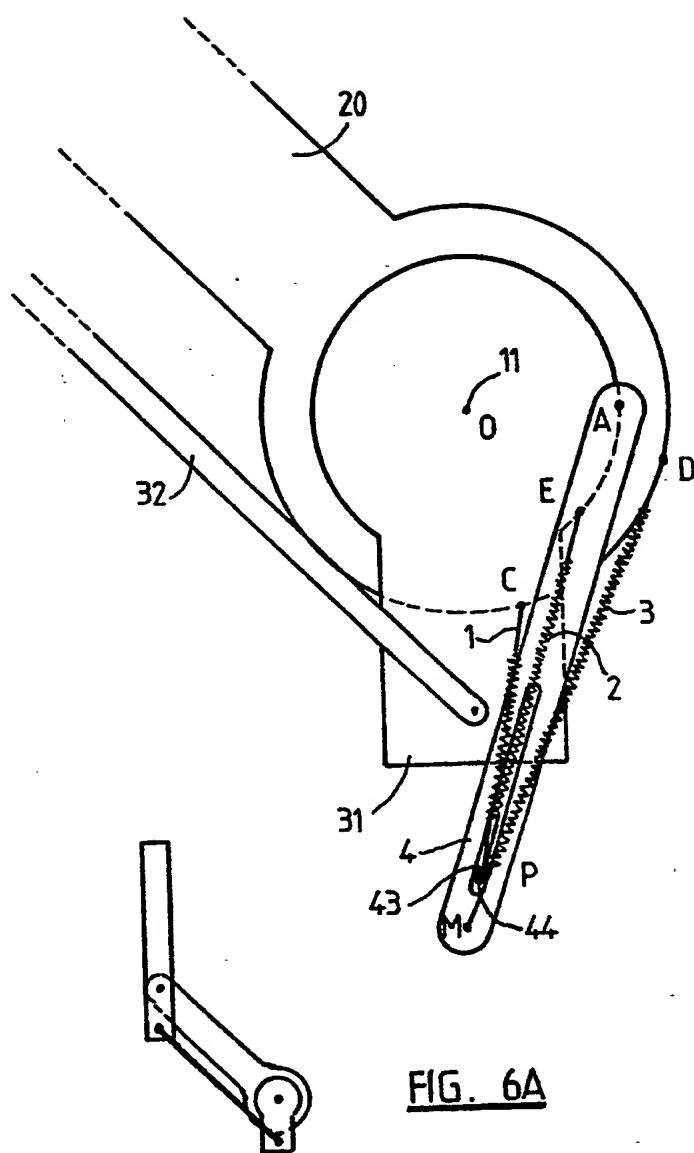
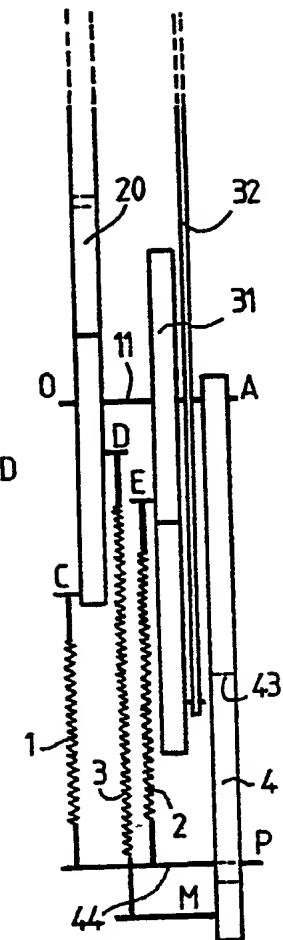


FIG. 4 A

FIG. 4 B

FIG. 5AFIG. 5B

FIG. 6AFIG. 6B

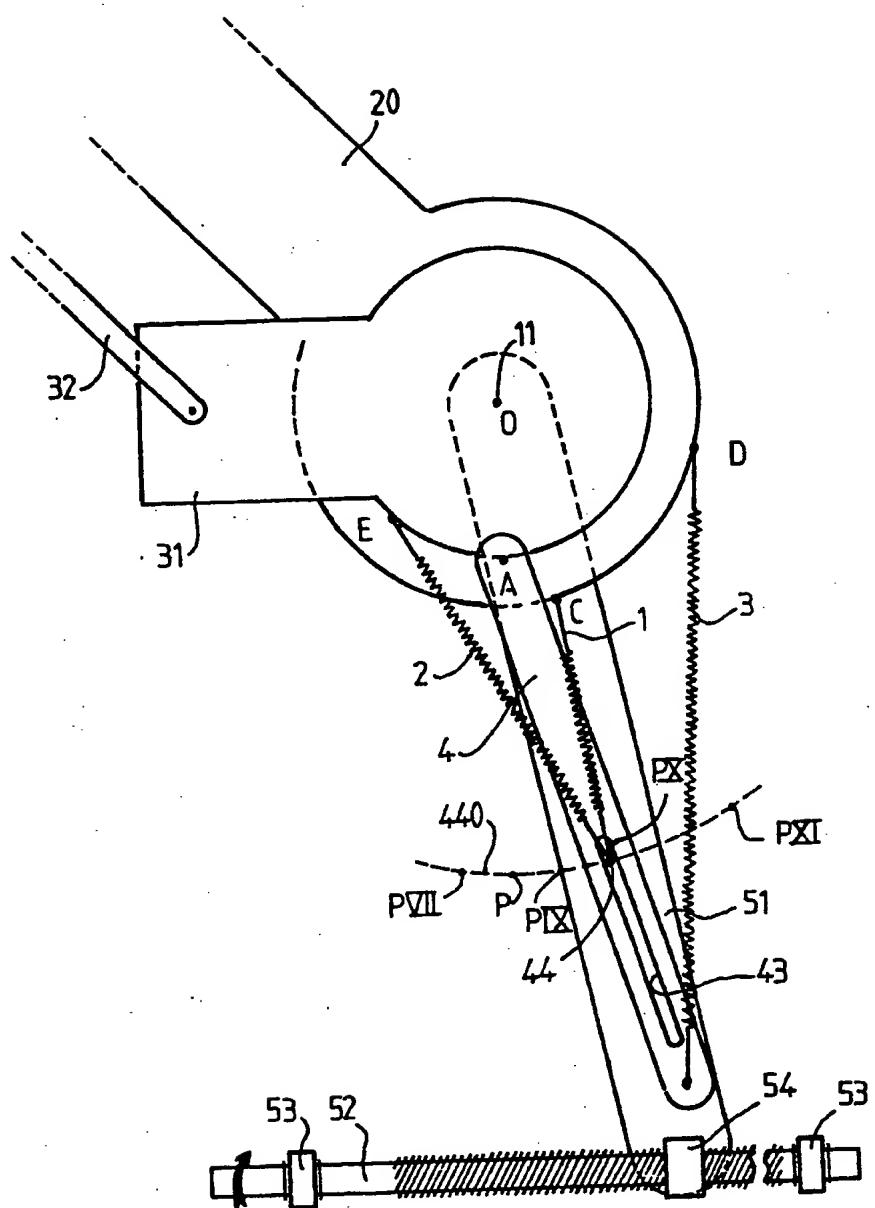


FIG. 7

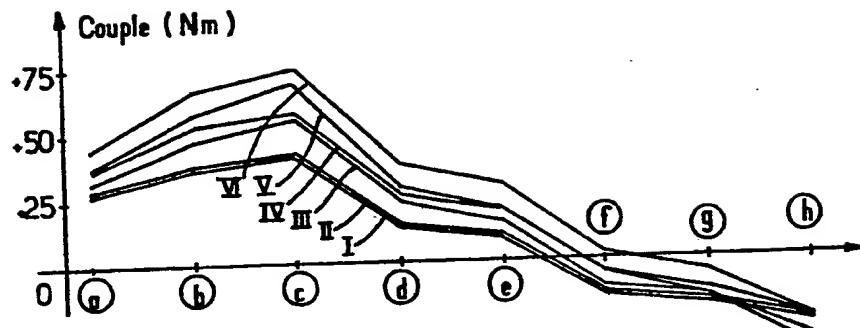


FIG. 9

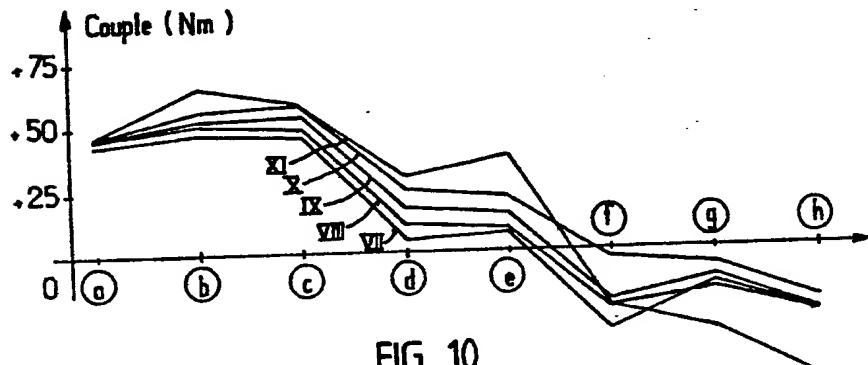


FIG. 10

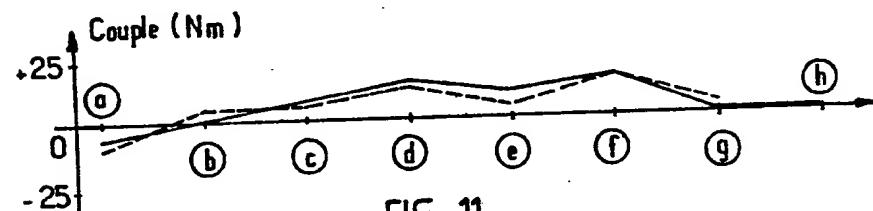


FIG. 11

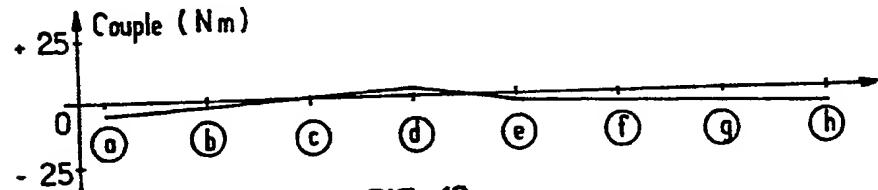


FIG. 12